

## 近赤外光センサによるドライバー心的状況の定量的計測手法に関する研究

都市基盤計画分野 井原 昌孝

### Abstract

これまでの交通施策には、ドライバーの心的状況の考慮は不十分であった。その原因の1つとしてドライバーの心的状況を定量的に表現する手法が確立されていないことがある。本研究では心的状況の計測手法として血中ヘモグロビンの酸素飽和度に着目した。近赤外光センサを用いてドライバーの血中酸素飽和度を計測することにより心的状況、特に緊張状態の定量的計測手法を提案する。また実際の計測値からより心的状況を直接反映する心的指標(緊張度指標、血流量指標)の提案も行った。実際の走行実験によって取得したデータを用いて分析を行い、適切な計測部位の検討後、被験者の長期的な緊張状態の有無と継続時間、短期的な緊張と交通環境との高い整合が確認された。特に短期的な視点では運転習熟者と未習熟者という個人属性による反応特性の違いも確認できた。今後は緊張度指標と血流量指標の組み合わせにより、ドライバーの詳細な心的状況を表現することが可能となる。

### 1. はじめに

交通事故の予防を目的として、カーブにおける注意喚起のための反射材の設置といった様々な施策がうたれている。しかし、これらの施策が交通事故予防に役立っているのかについて、ドライバーの心的状況からの検証はされてこなかった。実際にこれら施策がドライバーに対して何らかの働きをしていれば、ドライバーは反射材を見ることによって心的状況を変化させ、当該場所での運転に対する注意が喚起され、緊張などを高めているはずである。

そこで本研究では、ドライバーの心的状況を定量的に計測する手法として客観的なデータが入手可能な生理指標に注目する。生理指標の中でも心的状態、特に緊張度などを定量的に扱うために、交感神経のみに支配されている浅部抹消血管の収縮運動によって変化する血中ヘモグロビンの酸素飽和度の変動に着目する。既往研究として内田ら<sup>1)</sup>によってこの生理指標を用いて心的状態を表現できる可能性が示唆されている。本研究の目的は、ドライバー心的状況の定量的な計測手法として、本研究で提案する手法が有効であるかどうかを検証する。そして緊張度など心的状態を把握するための指標を提案する。本研究における酸素飽和度の計測には無侵襲的測定かつ簡易に計測が可能なバイタルセンサ<sup>1)</sup>(反射型 Near Infrared センサ)を用いた。

### 2. 心的状況の計測手法

本研究で用いるバイタルセンサはセンサ本体(駆動部・ロガー)とガラスファイバーで接続されたプロー

ブ部で構成される。プローブ部から照射される光は皮膚を通過し、血液中のヘモグロビンにより反射され、その反射された光をPD(Photo Diode)で受光し、反射光強度値を計測する。血液中のヘモグロビンは、主に4個の酸素が結合した酸素化ヘモグロビン(HbO<sub>2</sub>)と、1個の酸素も結合していない還元ヘモグロビン(Hb)が存在するが、酸素の結合の割合によって照射光の吸光特性が変わる。したがって、酸素飽和度すなわち酸素化ヘモグロビンの比率に応じて血液の吸光率は変化する。波長に対するHbO<sub>2</sub>とHbの吸光特性を図1に示す。

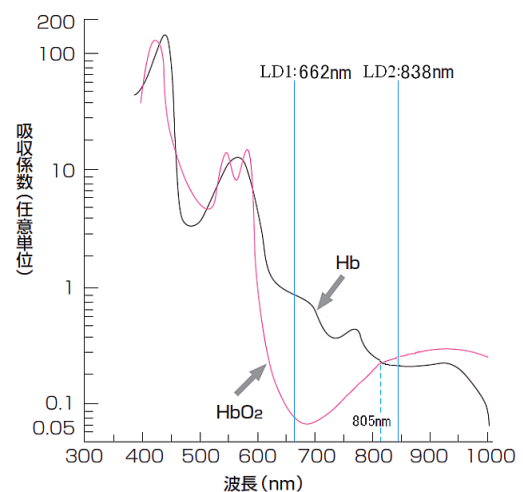


図1 波長に対する吸光特性図(シスメックス<sup>2)</sup>を一部改変)

本研究では照射光として、LD1: 662nm(赤色光)とLD2: 838nm(近赤外光)の異なる2波長を用いている<sup>1)</sup>。図1に示すように、LD1、LD2は不動点を挟んでいるため、1波長の場合とは違い、計測誤差の縮小や飽和度の時間的変化をより正確に計測することを可能としている。HbO<sub>2</sub>とHbの吸光特性は位置が

逆転しているため、酸素飽和度の上昇に対して反射光強度 LD1 は上昇、LD2 は下降とお互い反対方向に連動する。また酸素飽和度の上昇以外にも、単純に血流量が上昇すれば、反射光強度 LD1,LD2 はともに上昇する。しかし実際には変動要因はこれら 2 つ以外にもある。交感神経系以外からの影響による心拍数の変動や被験者の筋運動、さらには機械特性や測定時の誤差などがある。これに緊張状態の程度は、交通環境や運転の習熟度、実験への慣れなど多岐にわたる。これらを図 2 に示す。

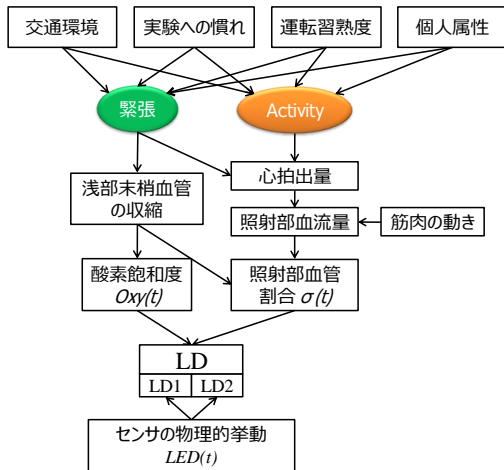


図 2 LD に対する変動要因の関係図

このように様々な変動要因が重なり、酸素飽和度と照射部の血管割合に反映され、反射光強度 LD の変動に影響を及ぼすことと考えられる。

次に反射光強度から酸素飽和度と血流量が計測可能かについて、立式から検討する。光の反射光強度が透過強度に比例するとし、Lambert-Beer の法則<sup>3)</sup>に加え、照射部血管割合を考慮すると、LD の値は

$$LDn(t) = I_{on} \cdot 10^{-\varepsilon_{hn}(Oxy(t) \cdot L \cdot \sigma(t))} + LED_n(t) \quad (1)$$

$$\varepsilon_{hn}(Oxy(t)) = Oxy(t) \cdot (1 - \varepsilon_{Oxn}) + (1 - Oxy(t)) \cdot (1 - \varepsilon_{Ren}) \quad (2)$$

$n = 1 \text{ or } 2$

$LD_n$ : LD1 or LD2

$I_{on}$ :  $LDn$  の照射光強度

$I_{in}$ :  $LDn$  の反射光強度

$\varepsilon_{hn}(Oxy(t))$ :  $Oxy(t)$  に対する  $LDn$  の反射光係数

$L$ : 光の透過距離

$\varepsilon_{Oxn}$ :  $LD_n$  に対する酸素化ヘモグロビン吸収定数

$\varepsilon_{Ren}$ :  $LD_n$  に対する還元ヘモグロビン吸収定数

$Oxy(t)$ : 時間  $t$  における血液中の酸素飽和度

$\sigma(t)$ : 時間  $t$  における  $LDn$  の照射部血管割合

$LED_n(t)$ : 時間  $t$  における  $LED_n$  のドリフト

と表わせる。LD1 と LD2 から  $Oxy(t)$  は

$$Oxy(t) = \frac{\text{Log}_{10} \left( \frac{I_{01} \cdot LD2}{I_{02} \cdot LD1} \right)}{(\varepsilon_{Re1} - \varepsilon_{Re2}) - (\varepsilon_{Ox1} - \varepsilon_{Ox2}) - (\varepsilon_{Re1} \cdot \varepsilon_{Ox1} - \varepsilon_{Re1} \cdot \varepsilon_{Ox2})} \quad (3)$$

のように絶対値の算出が可能となる。つまり反射光強

度 LD から酸素飽和度が表わせることがわかる。しかし絶対値を算出するためには具体的な照射光強度と光の透過距離が必要となる上に、被験者間ではほぼ意味をなさない。そこで本研究では、酸素飽和度と照射部血管割合の変動を相対的に捉えるために反射光強度 LD1、LD2 を用いた相対的な心的指標を提案する。LD1 と LD2 の変動は相反することに着目し、 $w \times LD1 \pm (1-w) \times LD2$  について考える。簡易化のため、本研究では重み  $w=0.5$  として、以後  $LD1 \pm LD2$  とする。「酸素飽和度」「照射部の血管割合」の変動に対して、LD1、LD2、 $LD1 \pm LD2$  の変動を図 3 に示す。これは図 1 の  $HbO_2$ -Hb 間の吸光係数の差と対応している。これを見ると、 $LD1-LD2$  は酸素飽和度、 $LD1+LD2$  は血流量に対して線形な関係にあることがわかり、これらより、緊張度によって変化する酸素飽和度の相対的指標として  $LD1-LD2$  を「緊張度指標」、血管割合の相対指標として「血流量指標」とする。

そこで本研究ではバイタルセンサによる計測で得られる LD1、LD2 に加え、心的状況を表わす指標として緊張度指標： $LD1-LD2$ 、血流量指標： $LD1+LD2$  を用いることにより、心的状況の定量的計測の有用性を検証する。

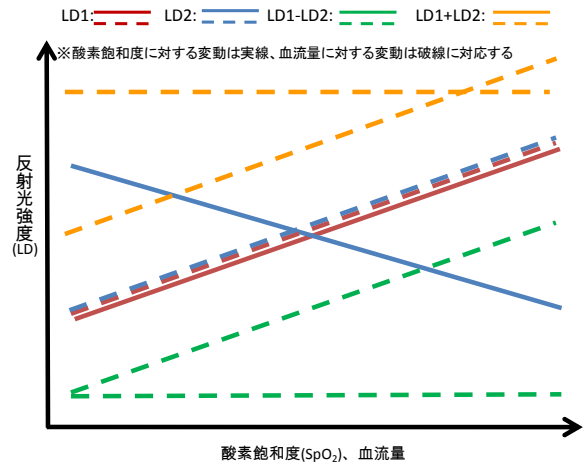


図 3 酸素飽和度、血流量それぞれに対する各値の関係

### 3. 走行実験の概要

走行実験の目的は、実験器具をドライバーに装着し、時間軸で連続して計測を行うことによって、主に反射光強度が変動している地点、交通環境を把握し、被験者の反応特性を明らかにしていくことである。

図 4 に実験で用いたバイタルセンサの装着様子とバイタルセンサを示す。バイタルセンサは非照射時の値も取得しており、これを min 値としている。実際の分析データでは各 LD の最大値から最小値を引いた LD Max-min を用いている。これによって環境光などの影響を取り除いている。なお、実際の実験中にはこれに加えて、環境光の影響を除くためにアルミホイ

ルとサポーターを装着した。表 1 に実験概要を、表 2 に被験者概要を示す。本稿では主に被験者 A~E の 5 名に絞り、分析データを挙げる。これら 5 名は複数回実験を行った被験者のうち、運転習熟・未習熟、(運転習熟者に関しては)左手固定・非固定という実験条件を満たす被験者を選んでいる。非固定のためハンドル操作が発生する被験者に対しても実験中は不必要に左手を動かさないように依頼した。

走行ルートを図 5 に、各走行区間におけるおおよその所要時間を表 3 に、阪神高速環状線の概略図を図 6 示す。なお、表 3 における a~e は図 5 と対応している。本研究では、交通量が多くループ状になり反復試行が可能な阪神高速環状線を主な実験ルートとした。走行実験中は 2 台のカメラによって、被験者の動き(主に手)や周りの交通環境を記録している。これら情報と計測される反射光強度の関係は時間で対応づけられる。

なお、被験者 N の i 回目、第 I 回実験における大回り 1 周目、地点 P のことを以後、N-i(I)、大 1-P と、記述する。



図 4 バイタルセンサ(左図)とプローブ装着状況(右図)

表 1 実験概要

実験概要		
	第 I 回実験	第 II 回実験
実験日時	2009/11/27~12/09	2010/01/29,30
実験回数	24回	6回
計測部位	ともに計2ヶ所 左手中指付け根、左手手首外側	

表 2 被験者概要

被験者	実験回数		運転習熟	左手固定 (ハンドル操作無)
	第 I 回実験	第 II 回実験		
A	2回	1回	○	3回目のみ
B	2回	1回	○	全て
C	2回	1回	○	3回目のみ
D	1回	1回		
E	1回	1回		
F,G	各2回	0回	○	
H~M	各1回	0回	○	全て
N~S	各1回	0回		
T	0回	1回		
計20人	計24回	計6回		

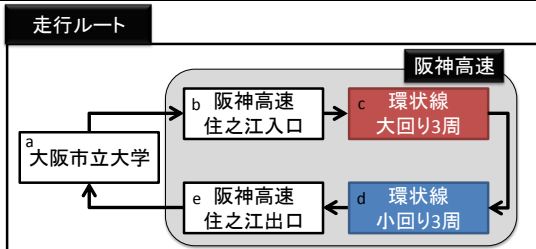


図 5 走行ルート

表 3 各区間におけるおおよその所要時間

走行区間	a-b間	b-c間	c	d	d-e間	e-a間	計
所要時間	15分	5分	30分	15分	5分	15分	85分

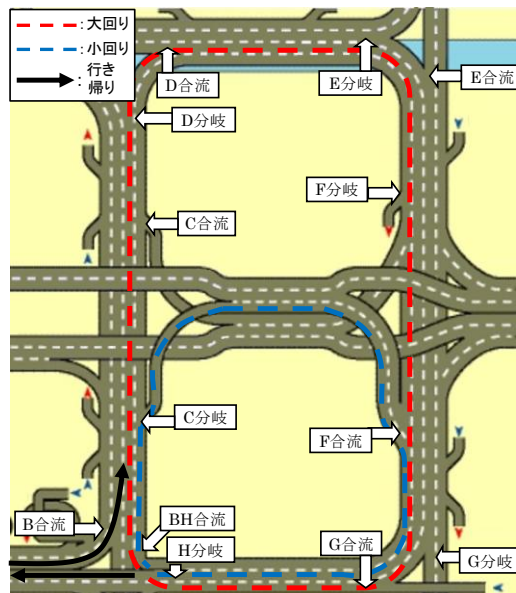


図 6 阪神高速環状線概略図 阪神高速道路 HP より改変

#### 4. 計測部位の検討

分析に用いるデータは、分合流が存在し、同一のルートを走れる点から主に阪神高速環状線(大回り、小回り 1~3 周)のデータとし、これに加えて、環状線との比較のために高速(帰り)のデータという 7 区間のデータを用いる。

実験では指と手首の 2 部位で測定を行ったが、どちらがドライバー心的状況の計測に繋がる酸素飽和度を計測するのに適しているかについて検討する。

計測値である LD1 と LD2 の変化要因について、視覚的に簡便に知るための図を図 7 に示す。1 例をあげると、右方向に移動した時には酸素飽和度が上昇し(LD1:上昇、LD2:下降)、血流量も上昇(LD1,LD2:ともに上昇)したために、結果として LD1 が上昇し LD2 は変動しなかったことになる。

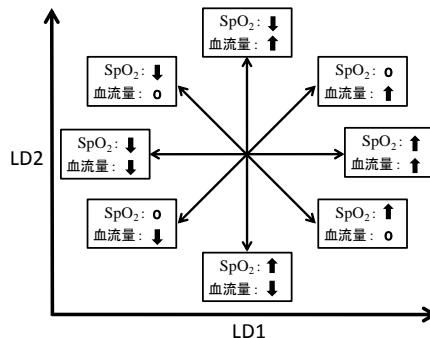


図 7 LD1 と LD2 平面における点の遷移に対する要因図

##### (1) 1 人の被験者に関する詳細検討

まずは被験者 A について計測部位の検討を行う。被験者 A を選んだ理由としては、実験回数が 3 回と最多であり、被験者内比較ができること、計測ミスや渋滞などもあまりなくデータに欠損がないことである。ただし A-1(I)では大回りを 4 周している。



まずは A-1(I)、大 1 から高速(帰り)のデータにおける LD1 と LD2 の区間別散布図を図 8- a)に示す。

全体の分布形状は、実験全体が大きく何に影響されているのかを表わし、区間毎の移動は区間レベルで見たときに、区間毎の形で見たときには区間内にどういった変動要因が働いているのか、もしくは計測されているのかを表わしている。

図 8- a)の全体の分布形状に着目すると、手首は強い正の相関がみられるが、指は上部で負の相関が少し見られるが全体として相関は弱い。原理的には酸素飽和度(緊張度)に応じて LD1 と LD2 は負の相関を示すはずである。ところが、手首は実験全体として正の相関が強いことから血流量の影響が支配的であり、指は酸素飽和度と血流量両者が重なり合った結果と考えられる。

区間毎の移動をみると、手首では実験序盤(大回り 1~3 周)では指、手首ともに右下方向へ遷移していることがわかる。つまり酸素飽和度の上昇が確認できる。実験中盤(大回り 3~小回り 2 周)に左下方向へ移動後、終盤(小回り 2 周~高速(帰り))ではほとんど区間毎に移動はみられない。つまり中盤以降は血流量の支配が強くなる、もしくはあまり変動がみられていないことがわかる。指についても同様にみていくと、実験序盤では右下もしくは下方向へ移動している。つまり酸素飽和度、もしくは酸素飽和度と血流量の影響がみられる。実験中盤では右方向へ移動後、左下方向へ移動し、実験終盤では再度右方向への移動が見られる。つまり中盤、終盤でも酸素飽和度と血流量の影響が重なり合っ

て表れている。次に区間毎の形をみると、指においては多くが横方向を長径とする楕円を描いている。つまりこの区間内に多くみられる変動の要因は酸素飽和度と血流量と推察される。手首では左斜め下から右斜め上方向を長径とする楕円を描いている。つまり区間内に多く見られる変動の要因は血流量が多いことがわかる。以上を表 4 -a)にまとめる。

## (2) 被験者を通じた検討

次に被験者を通じた検討を行うために、運転に習熟していない被験者のうち、実験回数が多い D-2(II)をみる。LD1 と LD2 の区間別散布図を図 8- b)に示す。

図 8- b)をみると、全体の分布形状は指が少し弱いものの、正の相関がみられる。区間毎の移動は、実験序盤では左下へ遷移後、下へ動き、中盤では若干右下へ遷移し、その後左下へ移動している。終盤では右上へ遷移していることがわかる。区間毎の形は、指では楕円というより円に近いものが多い。つまり酸素飽和度と血流量の影響が両者重なっている。手首では A-1(I)と同様に左斜め下から右斜め上方向への楕円が多くみられる。

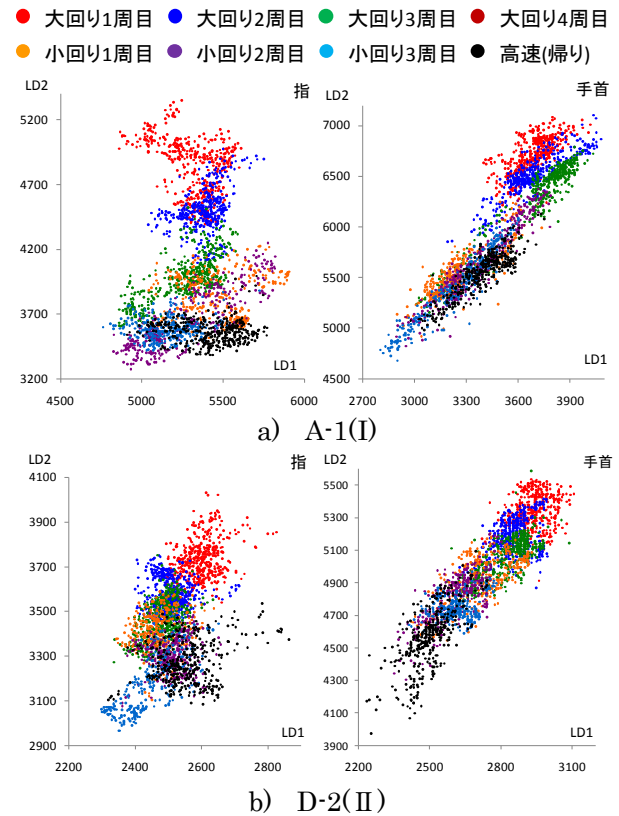


図 8 区間別 LD1 と LD2 散布図

表 4 主な変動要因

被験者A 1回目		指		手首	
全体の変動		酸素飽和度	血流量		血流量
実験序盤	実験中盤	酸素飽和度	血流量	酸素飽和度	血流量
実験終盤		酸素飽和度	血流量		血流量
区間毎の変動		酸素飽和度	血流量		血流量
区間毎の形(長径方向)		酸素飽和度	血流量		血流量

被験者D 2回目		指		手首	
全体の変動		酸素飽和度	血流量		血流量
実験序盤	実験中盤	酸素飽和度	血流量		血流量
実験終盤		酸素飽和度	血流量		血流量
区間毎の変動		酸素飽和度	血流量		血流量
区間毎の形(長径方向)		酸素飽和度	血流量		血流量

## (3) 計測部位の検討のまとめ

表 4 に 2 名の変動にはどのような要因が作用しているかをまとめた。これをみると手首では全体、区間毎の移動、区間内の変動全てにおいて、ほぼ血流量が支配している。一方で指では酸素飽和度と血流量の支配が見られる。以上から、特に緊張とのかかわりがある酸素飽和度の影響が強く表れている指での計測が望ましいといえる。

## 5. 心的指標の適用

### (1) 実験全体に対する適用

LD1-LD2(「SpO2」と表記)と LD1+LD2(「血流量」と表記する)を実験データに適用する。なお、絶対値ではなく、被験者内における相対比較のみ意味を持つ。被験者別の LD1-LD2 と LD1+LD2 の区間毎の平均値を図 9 に示す。なお、大回り 1 周目を 100%とし、これを基準とした変動を示している。

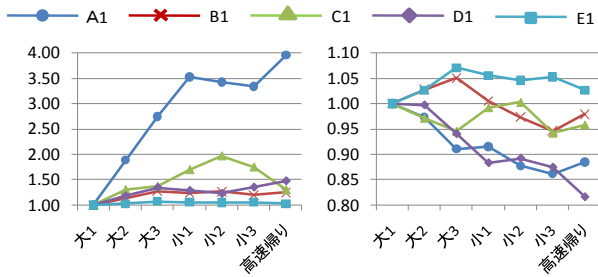


図9 各区間の平均値 LD1-LD2(左) LD1+LD2(右)

図9の左図をみると、LD1-LD2は大回り1周目にかけて程度に差はあるが全員上昇している。つまり全被験者で、実験前半に緊張が緩和し出していることがわかる。これはヒアリングとも一致した結果となっている。その後、C-1(I)以外の被験者では小回り1周目もしくは2周目において上昇が止まる、もしくは下降に転じている。これは新たなコースの走行を始めたことによって、若干緊張状態に移ったと考えられる。またこれ以後は大きな緊張の緩和は計測されていないことから、実験そのものに対する緊張は大回り3周のうちにほぼ消失したと考えられる。またこの実験そのものに対する緊張は運転習熟者の方が早く消失することが多かった。

次にLD1+LD2をみると、こちらは一律な傾向はみられないが、これはLD1-LD2とLD1+LD2が単純に相関や逆相関していないことを表わしている。

LD1+LD2が単純な逆相関であれば、それはLD2の影響がLD1+LD2とLD1-LD2に強く表れていることを表す。つまりLD1に対するLD2の変動比は過剰に大きいもしくは小さいことはないといえる。

また運転習熟者におけるLD1+LD2の高速(帰り)では、小3に対して上昇がみられる。これは実験が終わり、後は直線の走行を残すだけとなっているため、運転習熟者は運転未習熟者に比べて、スピードを出して帰ることが多かったことを反映しているものと思われる。このことからLD1+LD2がやる気のようなもの表現しうる可能性もある。

以上より、実験全体という長期的な視点に対して提案したLD1-LD2とLD1+LD2を適用した場合、緊張度指標LD1-LDより長期的な緊張状態の有無とその継続期間の把握可能性が示唆された。LD1+LD2がやる気とも表現できるものを表わしている可能性が示唆された。またこれら2指標が完全に独立しているとまでは言えないでも、単純な相関関係になっていないことが確認できた。

## (2) 受動的行動に対する反応

次に短期的な指標の変動についてみていく。まずは受動的な行動に対する反応をみる。受動的な行動とは

主に車線数の減少と行った道路線形要因やカーブなどがある。表2に記載の通り、被験者A~Cは運転に習熟しており、被験者D、Eは運転には不慣れである。また被験者Cは高速道での運転を頻繁に行っている被験者である。加えて、A-3(II)、B-1~3、C-3(II)は左手を固定して運転している。

各被験者のLD1-LD2、LD1+LD2の時系列反応を図10のa)~f)に示す。なお目盛りは5秒区切りとなっており、酸素飽和度(SpO<sub>2</sub>)については、緊張度の指標として扱うために軸を反転させ上昇すると緊張、下降するとリラックスという表現に変えている。

まず車線数の減少についてみていく。ほぼ全てにおいて緊張度指標LD1-LD2(SpO<sub>2</sub>)は上昇傾向がみられる。これは車線数が減少することによる圧迫感やカーブ手前という道路線形要因によって被験者が緊張したと考えられる。ただし、C-3(II)においては4秒移動平均によって平滑化された線では上昇は見られていない。普段から高速道路を走り慣れているC-3(II)はあまり緊張しなかったと思われる。

次にカーブについてみていく。大回りの地点Dにおいては緩やかな左カーブ後に右カーブが存在し、小回りの地点Fにおいては下りを伴う右カーブが存在している。これを見るとカーブにおいてはほとんど全ての被験者で緊張度指標の上昇がみられる。またこれはカーブの数と対応していることもわかる。ゆえにこれがカーブによるハンドル操作によって起こっているものか、カーブを走行することによって引き起こされている緊張などの心的状況の変化かが区別がつかない。そこで左手を固定しハンドル操作をしていないC-3(II)に着目する。これをみると、1つ目の緩やかな左カーブでは反応はほぼみられないが、2つ目の右カーブでは緊張度指標が上昇していることがわかる。他の被験者では1つ目の緩やかな左カーブにおいても緊張度指標が上昇していることを踏まえると、カーブにおいてはハンドル操作による影響と心的上吸の変化による影響が重なって表れていると考えられる。

また反応は、反応要因を過ぎると徐々に消えていく。そして反応が起こる前の水準、リラックスに近い水準に漸近していくことがほぼ全ての被験者で確認できている。

## (3) 能動的行動に対する反応

次に能動的な行動に対する反応をみる。能動的な行動とは自身による合流や車線変更などである。

本稿では合流にのみ触れる。図10のa)、b)は織り込み区間を有するが車は比較的少なかった。一方で図10のc)では車が多く、織り込み区間で自身による合流が必要となっていた。その結果として、図10のc)で

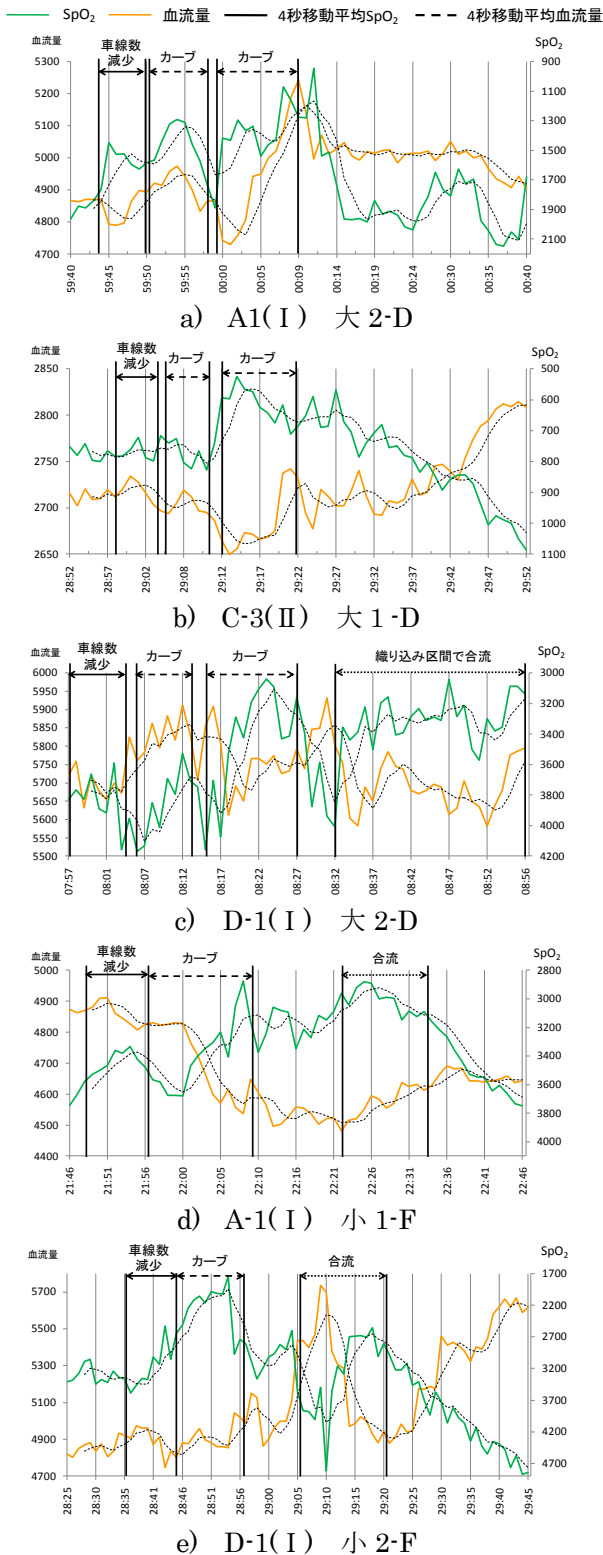


図 10 各被験者の LD1-LD2、LD1+LD2 経時変化

は合流中の長い間、緊張状態が高い状態が保たれていることが確認できた。

次に図 10 の d)~e)についてみる。小回りの F 地点は自身による積極的な合流が必要となる地点であり、この合流部では図 10 の d)~e)全てで緊張度指標の上昇がみられる。加えて、d)と e)を比べると、d)は e)よりも早くに緊張のピークを迎えていることがわかる。他の被験者、特に運転に習熟している被験者でも早期

のピークが見られ、運転に習熟していない被験者では遅めのピークが見られることが多かった。運転に習熟している被験者では、合流前に交通状態を確認する少し前の時点ピークを迎えて、運転に習熟していない被験者はいざ合流という時点においてピークを迎えているのではないかと考えられる。このことから、短期的な反応において運転習熟車と運転未習熟車で、異なる反応特性が確認できる。また地点 F でも、合流を終えるとゆっくりと値を下げている、リラックス水準ともいえる水準に漸近した。

以上、各行動に対する反応をみたが、被験者を問わず、道路線形要因や合流部などで緊張度指標の上昇がみられた。つまりドライバーに緊張を強いる要因の把握可能性が示唆された。また合流部などでは特に運転未習熟者から特に緊張したというヒアリングも得られ、被験者の意識や交通環境と緊張度指標の整合がとれていることがわかる。更に緊張後はリラックス水準へ漸近していくことも確認された。

## 6. まとめ

本研究では、近赤外光センサによって心的状況の表現を試みた。その結果、実験そのものという長期的な緊張の有無とその継続期間や、車線数の減少や合流といった短期的な交通環境による緊張度の有無の計測可能性が示唆された。また車線数の減少による緊張度や、合流部の反応のピークを迎える早さについては運転習熟者と運転未習熟者で差が見られた。これにより、運転習熟という個人属性による緊張度変化も計測可能であることが示唆された。そして緊張反応後は、リラックスしている水準まで値を漸近させていくこともわかった。

今後の課題としては、心的指標と交通環境に対する反応の整合性を担保するために、被験者が認識している要素とその時間を明らかにすることに加え、本研究では詳しく扱えなかった血流量指標を緊張度指標と組み合わせて用いることによってドライバーの心的状況を更に詳細に表わせる手法を確立していくことがある。

## 参考文献

- 1) 内田敬, 田名部淳: バイタルセンサを用いたドライバーの心理状態計測に関する研究, 交通安全対策振興助成研究報告書, 佐川交通社会財団, No.21, p.44-48, 2006
- 2) シスメックス株式会社: 末梢血管モニタリング装置 基礎データ集, [http://www.sysmex.co.jp/astrim/scientific/pdf/astrim\\_su.pdf](http://www.sysmex.co.jp/astrim/scientific/pdf/astrim_su.pdf)
- 3) 日本生理人類学会計測研究部会: 人間科学計測ハンドブック, p.175, 技法堂出版, 1998

## 討 議 等

### ◆討議 [ 鈴木准教授 ]

既往研究、類似研究との関連について。

◆回答：既往研究として、内田ら<sup>1)</sup>による研究がある。この研究では心的状況の計測可能性が示されている。

また生理指標に着目し、心的状況の把握を試みた研究としては瞬時心拍間隔 (R-R interbval) の計測によるものが多く見られる。単純な RRI 値を用いたものや、RRI の周波数スペクトル解析により得られる、低・高周波数帯域成分がそれぞれ示す特徴的な値を用いたものや、周波数スペクトル解析に加え呼吸と心拍の相互相関を用いたものなどがある。

本研究では近赤外分光法による方法を用いて浅部末梢血管の酸素飽和度計測によって、これら類似研究とは違うアプローチを有し、より簡便に計測可能であり実用化に近い位置づけを有している。

### ◆討議 [ 鈴木准教授 ]

もっと単純な実験から行うべきではなかったか。

◆回答：心的状況と反射光強度の関係について、問題を切り分けるための実験として一昨年前の浅野らによる研究がある。この研究では、被験者に対して大きな音、不快な音刺激を与えることにより、意図的なストレス負荷を行い、これに伴った反射光強度の変動が得られるか、実験を行った。この実験により、心的なストレスと反射光強度の関係が示唆されたため、本研究では走行実験によるデータの取得に踏み切った。

またデータは、高速道路という比較的ハンドル操作が少ないためノイズが入りにくい、かつ分合流といった定期的な刺激が存在するルートを選択したため、分析の際にある程度の問題の切り分けが可能となっている。しかし、今後はデータ量を増やしていくとともに、単純な実験によるデータも増やし、基礎を固めていくことも肝要である。

### ◆討議 [ 重松准教授 ]

波長に対する酸素飽和度別の吸光特性は LD1 と LD2 で異なるがその扱いはどうしたか。

◆回答：LD1 と LD2 で Hb から HbO<sub>2</sub> までの吸光係数の差に違いがあり、これについては検討を行った。実際の比を考慮して検討を行ったところ、比を考慮した場合としなかった場合で大きな違いが見られない上、問題の整理が困難となると考えたため、本研究では簡易化のために LD1 と LD2 の吸光係数差の比を同じ大

きさとして扱った。違いが計測されず、整理が困難になる理由の 1 つとして、波長の違いによる透過光と反射光の往復距離 (以下、光路距離と表記) が変わってくるのが考えられる。

### ◆討議 [ 重松准教授 ]

Lambert-Beer の法則を用いて、Oxy(t)の絶対値を算出する際に透過光距離はどのように扱ったか。

◆回答：本研究では光路距離は同じものとして扱った。絶対値の算出が可能ということを示した理由は、反射光強度により酸素飽和度の計測などが可能であることを示すために立式によって示した。現実には光路距離や照射光強度を求めることは困難であるため、絶対値の算出は困難かつ被験者間ではほぼ意味をなさないため、本研究では心的状況の相対指標として心的指標を提案したものである。

### ◆討議 [ 嘉名准教授 ]

従来の事故予防策は事故の発生箇所などの統計に基づいて行うが、これに対する優位点は何か。

◆回答：現在広く行われている事故発生箇所に対策を行うというアプローチが、最も一般的な方法であり効果的であると考えている。しかし、他のアプローチも行えることはその対策の精度の向上と、他のアプローチの正しさを担保する上でも有益である。また事故の発生箇所に予防策を行うという方法は、事故頻発しなければ対策できないという問題もあるが、本研究によるアプローチが実用に供されれば、この問題は回避できる。